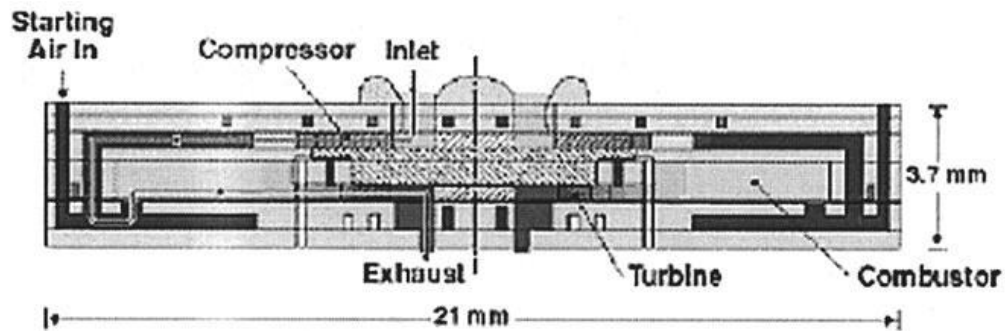


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

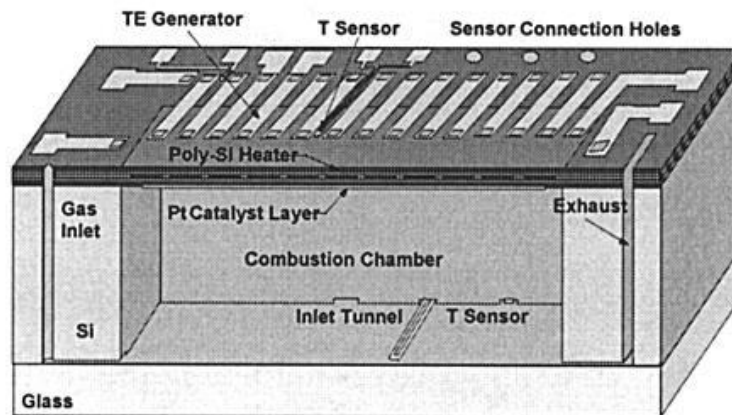
#### 2.1 Micro Power Generator

Pembangkitan energi memanfaatkan prinsip pembakaran dengan skala kecil disebut *micro power generator*. Hadirnya *Micro power generator* diharapkan ketergantungan pada sumber energi baterai dapat dikurangi, karena *micro power generator* dapat digunakan sebagai pengganti baterai. *Micro power generator* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *micro power generator* daya konvensional dan *micro power generator* yang menggunakan pengkonversi energi panas menjadi energi listrik (*thermo photo voltaic/ thermoelectric*). Perbedaan dari kedua *micro power generator* ini adalah cara kerja pembangkitan energinya, Untuk *micro power generator* yang menggunakan siklus daya konvensional cara kerjanya seperti dengan turbin gas yaitu memutar turbin yang berskala kecil dengan menggunakan energy dari hasil pembakaran.[4, 5]



Gambar 2.1 *Micro Power Generator* Daya Konvensional

Sedangkan *micro power generator* dengan menggunakan *thermo photo voltaic* (TPV), TPV cara kerjanya sama dengan *thermo electric* pada umumnya. Namun *thermo electric* energinya berasal dari sinar matahari sedangkan *micro power generator* jenis ini berasal dari pembakaran skala kecil.[6]



Gambar 2.2 *Micro Power Generator Thermo electric*

Meskipun *micro power generator* dibagi menjadi dua jenis berdasarkan cara kerja pembangkit energinya seperti diatas, namun kedua jenis tersebut memiliki persamaan yaitu sumber energi panasnya, sumber energi panas dalam *micro power generator* berasal dari proses pembakaran skala kecil disebut *Micro combustor*. *Micro combustor* memiliki karakteristik dimensi pembakaran yang kecil sehingga proses pembakaran dalam ruang bakar dimensinya relatif. Dimensi relatif yang terjadi adalah mendekati lebar minimal suatu ruang bakar agar dapat terjadi proses pembakaran didalamnya.[7]

*Micro combustor* dibagi menjadi macam-macam bentuk dan ukuran. Akan tetapi *micro combustor* dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *micro-scale combustor* dan *meso-scale combustor*. Pengelompokkan tersebut berdasarkan diameter pada ruang bakar. Untuk ruang bakar yang berukuran kurang dari 1 mm adalah *micro-scale combustor* sedangkan pada ruang bakar yang berukuran lebih dari 1 mm disebut *meso-scale combustor*.[8]

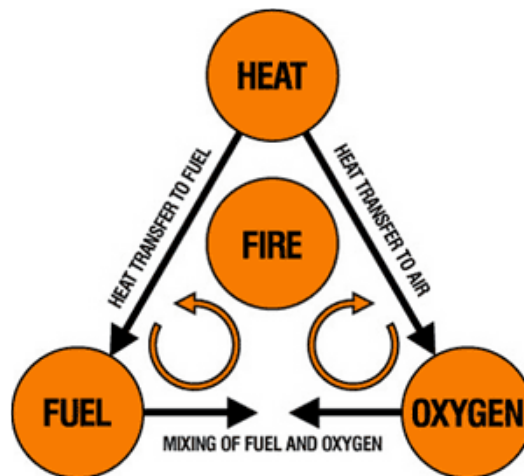
Dalam penelitian ini, menggunakan *micro combustor* jenis *meso-scale combustor*, *meso-scale combustor*nya berbahan bakar butana. Dan menggunakan 3 jenis *meso-scale combustor* dengan variasi ruas pemisah yaitu dengan ukuran 3mm, 5mm, 6mm dengan bahan *duralumin*. *Meso-scale combustor* ini terdiri dari ruas penguapan, *flame holder*, ruas pemisah bahan *duralumin* semuanya, dan kaca kuarsa dengan diameter dalam 3,5mm dan panjang 20mm. Untuk *flame holder* menggunakan

lines 8 bahan *duralumin*, *flame holder* adalah untuk menempelnya nyala api pada *combuster*.

## 2.2 Pembakaran

Proses reaksi kimia yang terjadi karena bahan bakar, oksigen dan energi aktivasi disebut pembakaran. Pembakaran menghasilkan energi berupa panas, terjadi perpindahan cahaya berupa api, dan terjadi perubahan senyawa. Bahan bakar pada reaksi pembakaran memiliki kandungan senyawa organik maupun anorganik, akan tetapi senyawa tersebut harus memiliki struktur dasar hidrokarbon ( $C_xH_y$ ).

Energi aktivasi adalah zat yang bereaksi dengan oksidator dan memulai proses awal pembakaran untuk mendapat suhu yang cukup untuk terjadinya reaksi pembakaran. Energi aktivasi yang digunakan adalah panas, panas muncul dari proses pembakaran, panas tersebut akan menggunakan molekul penyusun bahan bakar.

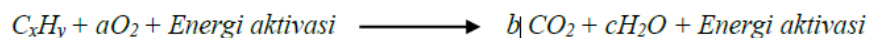


Gambar 2.3 Proses Pembakaran [3, 9]

Dalam penelitian ini, menggunakan bahan bakar gas yaitu Butana. Untuk pembakarannya nanti akan digunakan alat untuk mengatur keluarnya udara dan bahan bakar sesuai dengan volume yang dibutuhkan untuk pembakaran yang sempurna yaitu alat *flowmeter*, bahan bakar gas ini lebih mudah penyalaan apinya daripada bahan bakar cair, karena kalau bahan baik cair harus membutuhkan waktu penguapan.

### 2.2.1 Reaksi Kimia Pada Proses Pembakaran

Ada 3 komponen reaksi kimia pembakaran, yaitu bahan bakar, oksigen, dan energi aktivasi. Reaksi terjadi berasal dari pencampuran 3 komponen reaksi tersebut, dan kadar komposisi setiap komponen mempengaruhi. Dari proses pembakaran itu membawa dampak perpindahan panas, perpindahan massa, dan bisa juga dampak pada hasil dari fenomena fisiknya. Rumus reaksi pembakaran sebagai berikut :



Persamaan diatas adalah rumus reaksi pembakaran ideal, namun pembakaran sempurna sangat sulit terjadi pada realitanya. Oksidator oksigen umumnya digunakan untuk reaksi pembakaran terutama oksigen dari udara bebas. Udara bebas bisa jadi mengandung tidak hanya oksigen saja, bisa jadi ada gas-gas lain yang tercampur ke dalam udara bebas yang ada disekitar tersebut.[9]

Percampuran fuel dan oksigen untuk sebuah reaksi dapat disebut pembakaran stokiometri. Pembakaran hidrokarbon dapat disebut pembakaran stokiometri apabila seluruh atom (C dan H) pada pembakaran hidrokarbon berikatan semua dengan  $O_2$  yang nantinya dapat membentuk  $H_2O$  dan  $CO_2$ .

Reaksi pembakaran yang terjadi tidak selalu sama dengan rumus reaksi pembakaran seperti diatas. Namun reaksi pembakaran justru kebanyakan menghasilkan gas-gas buang seperti  $NO_x$  (Nitrogen Oksida) atau CO (Karbon Monoksida). [3]

### 2.2.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Rasio perbandingan, antara massa atau mol bahan bakar dan oksigen yang terjadi suatu reaksi pembakaran disebut *air fuel ratio* (AFR). Hasil dan bentuk nyala api dalam proses pembakaran membutuhkan peran AFR. Pada reaksi pembakarann ini memegang peranan penting dalam menentukan jalannya proses yang dimaksud. Metode yang sering dilakukan untuk mendefinisikan pencampuran udara dan bahan bakar adalah persamaan AFR ini. Persamaan AFR pada campuran stoikiometrik dituliskan dalam rumus yaitu :

$$(AFR)_{stoic} = \left( \frac{N_{air}}{N_{feul}} \right)_{stoic}$$

$$(AFR)_{stoic} = \left( \frac{M_{air}}{M_{feul}} \right)_{stoic}$$

Keterangan :

- $AFR_{stoic}$  = Rasio air dan bahan bakar cair dalam kondisi stoikiometrik
- $N_{air}$  = Jumlah mol udara (air)
- $N_{fuel}$  = Jumlah mol bahan bakar (feul)
- $M_{air}$  = Massa udara (air)
- $M_{fuel}$  = Massa bahan bakar (feul) [3]

### 2.2.3. Rasio Ekuivalen

Perbandingan antara rasio udara dan bahan bakar stoikiometri terhadap rasio udara dan bahan bakar aktual untuk proses pembakaran dengan kuantitas udara teoritis disebut rasio ekuivalen. Persamaan rasio ekuivalen yang digunakan dapat dituliskan :

$$\Phi = \frac{\dot{m}_f \times (AFR)_{stoic}}{\dot{m}_a}$$

Keterangan:

- $\Phi$  = Rasio ekuivalen
- $AFR_{stoic}$  = Rasio bahan bakar dan udara pada keadaan stoikiometri
- $\dot{m}_f$  = massa alir *fuel* (gr/min)
- $\dot{m}_a$  = massa alir udara (gr/min)

Hasil dari perhitungan rasio ekuivalen digunakan untuk penentuan jenis campuran bahan bakar dan udara yang terjadi dalam ruang pencampuran pada reaksi pembakaran. Berdasarkan nilai rasio ekuivalen pencampuran bahan bakar dan udara dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

- Apabila nilai  $\Phi > 1$  maka menandakan terdapat lebih banyak *fuel* dan campuran disebut dengan campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*).
- Apabila  $\Phi < 1$  menandakan campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*), dalam keadaan tersebut jumlah oksigen melimpah akan tetapi bahan bakar kurang untuk bereaksi.
- Sedangkan jika nilai  $\Phi = 1$  adalah campuran stoikiometri yaitu jumlah bahan bakar dan udara berada pada komposisi yang tepat.

Menurut (Sasongko, M. N., 2014), perbedaan warna nyala api dapat dipengaruhi oleh adanya perbedaan antara perbandingan campuran bahan bakar dan udara. Warna api yang lebih terang menandakan temperaturnya lebih tinggi, maka campuran yang kaya akan berwarna lebih terang. [10]

#### 2.2.4 Laju Aliran Pembakaran

Stabilitas nyala api di dalam ruang bakar *meso-scale combustor* pada proses pembakaran dipengaruhi oleh laju aliran reaktan. Laju aliran adalah hasil campuran bahan bakar dengan udara yang dikompresikan masuk ke dalam ruang bakar *meso-scale combustor*. [11, 12] Laju aliran reaktan pada *meso-scale combustor* dapat dihitung menggunakan rumus :

$$U = \frac{Q}{A} = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{A} \right) = \left( \frac{Q_f + Q_a}{A} \right)$$

$$U = \frac{(Q_f(\text{vapor}) + Q_a)}{(\pi \times r^2)} = \frac{\frac{(Q_f(\text{vapor}) + Q_a)}{60}}{\frac{(\pi \times r^2)}{100}}$$

Keterangan :

- $U$  = Kecepatan
- $Q$  = Debit bahan bakar + udara
- $A$  = Luas penampang ( $A = \pi r^2$ )
- “60” = Merubah satuan dari menit ke detik
- “100” = Merubah satuan dari mm<sup>2</sup> ke cm<sup>2</sup> [3]

## 2.3 Klasifikasi Pembakaran

### 2.3.1 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Sifat Reaksi Kimia

#### a. Pembakaran Sempurna

Pembakaran dimana reaktan terbakar secara keseluruhan dengan oksigen sehingga menghasilkan energi panas disebut pembakaran sempurna. Realitanya pembakaran sempurna sangat sulit untuk tercapai.

#### b. Pembakaran tidak Sempurna

Jumlah oksigen ataupun jumlah bahan bakar yang kurang saat proses pembakaran menyebabkan proses pembakaran tidak sempurna. Dalam pembakaran menghasilkan zat karbon monoksida dan jelaga, kedua zat tersebut memiliki kandungan zat berbahaya terhadap manusia maupun lingkungan, maka seharusnya kedua zat tersebut dikurangi untuk hasil jumlahnya dan dapat dihindari kontak langsung dengan manusia maupun lingkungan.[9]

### 2.3.2 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Proses Pencampuran Reaktan dan Pengoksidasi

#### a. Pembakaran Difusii

Bahan bakar pada pembakaran difusii akan bercampur dengan oksigen dalam ruang pencampuran bahan bakar. Proses pembakaran difusii sering terjadi pada mesin diesel, bahan bakar diinjeksikan dalam ruang bakar agar tercampur dengan oksigen bertekanan tinggi dan proses pembakaran di ruang bakar

#### b. Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah proses pencampuran bahan bakar, udara dan energi aktivasi pada ruang bakar untuk terjadinya proses pembakaran. Proses tersebut membutuhkan alat yang bertekanan untuk mendorong masuk bahan bakar dan udara untuk masuk kedalam ruang bakar dan terjadi pembakaran *premixed*.[9]

Dalam penelitian ini berdasarkan proses pencampuran yaitu pembakaran jenis *premixed*, karena pembakarannya menggunakan ruang bakar dan terjadi pembakaran. Dengan menggunakan bahan bakar butana dan udara maka akan terjadi pencampuran

dan pembakaran dalam ruang bakar. Dan dalam pembakaran berdasarkan sifat reaksi kimia yaitu termasuk pembakaran sempurna.

## 2.4 Batas Nyala Api

Api dapat terbentuk apabila terjadi reaksi pembakaran yaitu bahan bakar bercampur dengan udara dan mendapatkan energi aktivasi. Hasil dari proses pembakaran adalah terjadinya pelepasan energi, api terbentuk dari hasil pelepasan energi panas dalam ruang bakar. Nyala api memiliki namanya batas nyala, batas nyala ini terbentuk dari nilai komposisi antara jumlah bahan bakar dan udara.[13]

Menurut (Sasongko, M. N., 2014) sifat bahan bakar dan kecepatan aliran bahan bakar bereaksi terhadap udara sekitarnya adalah mempengaruhi munculnya nyala api dan batas pernyalaannya. Batas bawah stabilitas nyala api lebih dikenal juga dengan *lower flammability limit*, sedangkan batas atas stabilitas nyala api dikenal dengan istilah *upper flammability limit*. Dari kedua parameter ini kita dapat diketahui sifat dari suatu reaksi pembakaran, apakah suatu reaksi pembakaran itu memiliki stabilitas nyala api tinggi atau sebaliknya. Tidak hanya bagaimana proses pernyalaan api dan batas nyala saja melainkan kestabilan dari nyala api juga dipengaruhi jumlah bahan bakar dan udara yang dikompresikan.[10]

## 2.5 Sifat Nyala Api

Nyala api dalam reaksi pembakaran memiliki sifat nyala yang berbeda begitupun juga pada stabilitas nyala api, dari kedua hal tersebut dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar dan udara. Klasifikasi nyala api berdasarkan sifat nyala dibedakan menjadi 3 yaitu:

### a. *Flashback*

Keadaan dimana kecepatan pembakaran lebih besar jika dibandingkan dengan kecepatan campuran reaktan disebut flashback. Dimana nyala api merambat kembali menuju ke dalam ruang penmbakaran.

### b. *Lift-off*

Kondisi dimana batas kestabilan yang dicapai oleh nyala api pada renggang tertentu dari ruang pembakaran disebut *lift-off*. *Lift-off* disebabkan



oleh kecepatan nyala api dan sifat campuran aliran reaktan di dekat ujung (mulut) ruang pembakaran, jadi permukaan mulut tabung pembakaran tidak tersentuh oleh nyala api. Sifat nyala api *lift-off* dipengaruhi oleh kecepatan aliran reaktan, nyala api akan melompat menuju ke posisi yang jauh dari ujung ruang pembakaran dan api terdorong keatas dan apabila kecepatan reaktan dinaikan maka api akan padam.

#### c. *Blow-off*

Suatu keadaan dimana nyala api mati disebabkan oleh pembakaran lebih lambat dibandingkan aliran reaktan disebut *blow-off*. [13]

### 2.6 Butana

Senyawa kimia hidrokarbon berikatan tunggal, termasuk bahan berbahaya dan beracun (B3) dan sangat mudah terbakar disebut butana. Dengan rumus molekul  $C_4H_{10}$ , yang berarti memiliki 4 atom karbon dan 10 atom hidrogen, sehingga mempunyai berat molekul 58,14 gram/mol. Secara fisik, butana berupa gas dan tidak berwarna. Memiliki titik kondensasi  $-0,5^{\circ}C$ , titik beku  $-138^{\circ}C$ , dan *critical temperature*  $151,85^{\circ}C$ , serta temperatur *auto-ignition* pada  $365^{\circ}C$ .

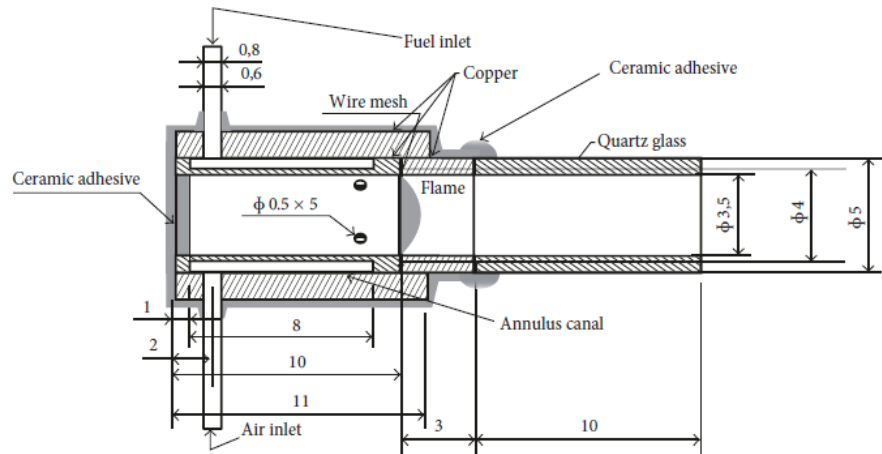
Dalam penelitian ini, menggunakan butana sebagai bahan bakar, yang nantinya akan beroksidasi dengan udara yang akan menghasilkan nyala api.

### 2.7 Penelitian Sebelumnya

(Achmad Fauzan H.S., *et al.*), telah melakukan eksperimen yang mempelajari kemungkinan terjadinya pembakaran bahan bakar gas yang stabil pada *meso-scale combustor*. Penelitian ini menggunakan *meso-scale combustor* dengan tabung berdiameter dalam 3,5 mm. *meso-scale combustor* dibuat dari tabung kaca kuarsa-tembaga-tabung kaca kuarsa dengan menggunakan lem keramik sebagai perekat (Ceramabond 569, Aremco Product Inc.). *Meso-scale combustor* terbuat dari bahan tembaga, yang berfungsi sebagai ruang pencampuran bahan bakar. Bagian tembaga dari masing-masing *meso-scale combustor* diisolasi dengan lem keramik.

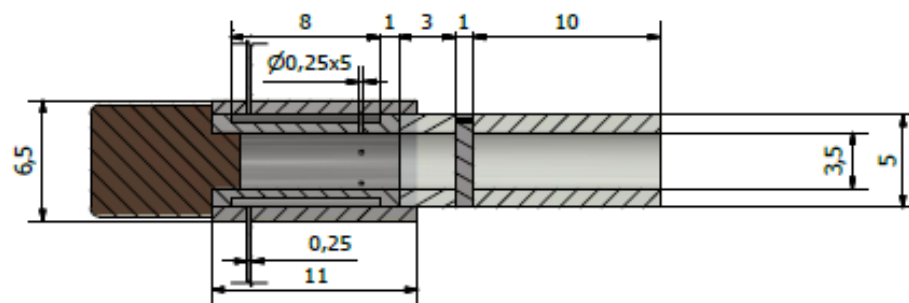
Combuster (Gambar 2.4) memiliki kanal pembakaran berbentuk tabung disepanjang dinding tembaga yang mengelilingi *meso-scale combustor*. Akan tetapi, pada ini, udara tidak mengalir dari arah hulu *meso-scale combustor* sebagai gantinya

dialirkan ke dalam ruang penguapan menggunakan sebuah pipa kecil, oleh karena itu bahan bakar dapat dicampur didalam ruas penguapan sebelum masuk ke ruang bakar.



Gambar 2.4 *Meso-scale combustor* tipe C [1, 2]

Khaliq (2018) melakukan penelitian untuk mengatur stabilitas nyala api dengan memberikan ruas pemisah. Ruas pemisah itu memisahkan ruang penguapan dan flame holder dengan maksud untuk mengatur nyala api agar tidak cepat dingin untuk nyala api. Ruas pemisah itu menggunakan bahan stainless steel, bahan stainless steel dipilih karena mempunyai konduktivitas. Ruas pemisah yang bagus memberikan jarak terhadap reaktan terhadap nyala api.



Gambar 2.5 *Meso-scale combustor* (Khaliq)

Dalam penelitian ini, mengembangkan penelitian diatas yaitu dengan mengubah panjang ruas pemisah dengan ukuran 3mm, 5mm, dan 6mm dan merubah bahan, yaitu menggunakan duralumin untuk bahan ruas pemisah, ruas penguapan, dan

*flame holder*. Hal tersebut untuk meneliti hubungan dan kegunaan ruas pemisah dan mencari ukuran ideal ruas pemisah untuk api yang stabil pada *meso-sacle* combuster. Ruas pemisah menggunakan bahan *duralumin*, bahan ini berbeda dengan penelitian sebelumnya dan guna untuk mengembangkan penelitian yang diatas.